

# **NASKAH PUBLIKASI**

## **PRARANCANGAN PABRIK FENOL DARI KUMEN HIDROPEROKSIDA DAN KATALIS ASAM SULFAT DENGAN PROSES DEKOMPOSISI KUMEN HIDROPEROKSIDA KAPASITAS 60.000 TON/TAHUN**



Disusun oleh:

**MUHAMMAD SYAHAB**  
**NIM. D 500 110 002**

Dosen pembimbing:

**Tri Widayatno, S.T., M.Sc., Ph.D**  
**Hamid, ST., M.T**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**  
**2015**

### **Surat Persetujuan Artikel Publikasi Ilmiah**

Yang bertanda tangan di bawah ini pembimbing skripsi/ tugas akhir:

Nama : Tri Widayatno, S.T., M.Sc., Ph.D

NIK : 960

Telah membaca dan mencermati naskah artikel publikasi ilmiah, yang merupakan ringkasan skripsi/ tugas akhir dari mahasiswa:

Nama : Muhammad Syahab

NIM : D 500 110 002

Program studi : Teknik Kimia

Judul skripsi : Prarancangan Pabrik Fenol dari Kumen Hidroperoksida dan Katalis Asam Sulfat dengan proses Dekomposisi Kumen Hidroperoksida Kapasitas 60.000 Ton/ Tahun.

Naskah artikel tersebut layak dan disetujui untuk dapat dipublikasikan.

Demikian persetujuan ini dibuat, semoga dapat dipergunakan seperlunya.

Surakarta, 17 November 2015

Dosen pembimbing



**Tri Widayatno, S.T., M.Sc., Ph.D**

NIK.960

## INTISARI

Fenol merupakan bahan kimia dalam industri yang masuk dalam kelas *hydrobenzen*. Fenol banyak digunakan dalam industri terutama industri resin fenolat, pembuatan bisfenol-A, industri plastik, dan lain sebagainya. Kebutuhan fenol di Indonesia cenderung mengalami peningkatan tiap tahunnya. Oleh sebab itu pendirian pabrik fenol di Indonesia sangat penting untuk mengurangi impor. Pabrik fenol ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan dalam negeri dan tidak menutup kemungkinan untuk diekspor.

Proses pembuatan fenol dilakukan dengan dekomposisi kumen hidroperoksida dengan katalis asam sulfat. Dekomposisi kumen hidroperoksida dijalankan pada reaktor alir tangki berpengaduk (RATB) dengan kondisi operasi suhu 65°C dan tekanan 2 atm. Reaksi di dalam reaktor bersifat eksotermis. Produk samping yang utama dari proses ini adalah aseton. Pemurnian produk dilakukan dengan proses destilasi, sehingga diperoleh produk dengan kemurnian 99,9%.

Pabrik fenol dirancang dengan kapasitas 60.000 ton/tahun yang beroperasi selama 330 hari/tahun. Pabrik fenol ini membutuhkan bahan baku kumen hidroperoksida (CHP) sebanyak 110.001,44 ton/tahun, dan asam sulfat sebanyak 395,00 ton/tahun. Unit utilitas sebagai penunjang proses produksi membutuhkan air sebanyak 35.914,076 kg/jam yang diambil dari sungai Cisadene, *saturated steam* sebanyak 37.347,86 kJ/jam diperoleh dari *boiler* dengan bahan bakar solar sebanyak 4,25 liter/jam, kebutuhan listrik sebesar 73,701 kW listrik dipasok dari PLN serta *generator set* sebagai cadangan, dan kebutuhan udara tekan sebesar 101,52 m<sup>3</sup>/jam.

Dari analisis ekonomi, pabrik fenol ini membutuhkan modal tetap (*fixed capital*) sebesar Rp. 369.400.804.196,96 dan modal kerja (*working capital*) sebesar Rp. 775.067.521.406,41. Keuntungan yang diperoleh sebelum pajak sebesar Rp. 230.727.007.195,05 tiap tahun. Keuntungan sesudah pajak sebesar Rp. 161.508.905.036,54 tiap tahun. Hasil analisis kelayakan menyatakan bahwa *percent return on investment* (ROI) sebelum pajak sebesar 62,46% dan setelah pajak sebesar 43,73%. *Pay out time* (POT) sebelum pajak 1,38 tahun sedangkan setelah pajak sebesar 1,86 tahun. *Break even point* (BEP) sebesar 51,31% kapasitas, dan *shut down point* (SDP) sebesar 41,96% kapasitas. *Discounted cash flow* (DCF) sebesar 38%. Berdasarkan hasil analisa dengan parameter tersebut, maka pabrik fenol ini layak untuk didirikan di Indonesia.

Kata kunci: fenol, CHP, RATB

## **A. LATAR BELAKANG**

Ilmu pengetahuan dan teknologi merupakan dua aspek penting yang harus dimiliki suatu bangsa yang besar. Kemampuan bangsa untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat berbanding lurus dengan kemampuan sumber daya manusia yang dimiliki. Salah satu upaya dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat yaitu dengan peningkatan pembangunan dalam bidang industri. Karena industri kimia merupakan industri yang vital dan strategis bagi setiap bangsa termasuk bangsa Indonesia.

Upaya pemerintah dalam meningkatkan dan mengembangkan teknologi khususnya dalam bidang industri kimia semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat dengan semakin meningkatnya teknologi hilir di Indonesia seperti industri obat-obatan, plastik, resin dan lain-lain. Namun pada kenyataannya kebutuhan konsumsi bahan kimia baku maupun bahan kimia jadi dalam negeri lebih besar dibandingkan produksi dalam negeri, sehingga diperlukan impor dari negara lain

salah satunya adalah Fenol. Dewasa ini kebutuhan fenol terus bertambah seiring dengan perkembangan industri - industri baru di Indonesia. Sehubungan dengan hal ini maka sangatlah tepat jika di Indonesia didirikan pabrik fenol dengan tujuan mengurangi ketergantungan terhadap negara lain, memenuhi kebutuhan dalam negeri dan tidak menutup kemungkinan di ekspor ke luar negeri

Dengan mendirikan pabrik fenol, diharapkan kebutuhan industri kimia akan kebutuhan konsumsi bahan kimia baku maupun bahan kimia jadi dalam negeri dapat dipenuhi serta dapat merangsang tumbuhnya industri-industri baru yang berhubungan dengan fenol.

## **B. PERANCANGAN KAPASITAS**

Penentuan kapasitas perancangan ini didasarkan pada kebutuhan fenol di Indonesia. Di Indonesia sekarang ini banyak pabrik yang menggunakan fenol sebagai bahan baku produksinya, diantaranya industri obat-obatan, plastik, resin dan lain-lain. Kebutuhan fenol di Indonesia cenderung terus meningkat setiap

tahunnya. Berdasarkan data dari Biro Pusat Statistik (BPS) diketahui bahwa impor fenol di Indonesia pada tahun 2007-2014 cenderung meningkat, ditunjukkan pada Tabel 1. berikut (BPS, 2015):

No	Pabrik	Kapasitas (ton/tahun)
1	2007	12.498
2	2008	14.574
3	2009	16.450
4	2010	16.386
5	2011	19.291
6	2012	24.724
7	2013	28.401
8	2014	38.164

Tabel 1. Data Impor Negara Indonesia terhadap Fenol

Berdasarkan pertimbangan kebutuhan dalam negeri yang semakin meningkat dan kapasitas minimal pabrik yang sudah ada maka dalam perancangan ini dipilih kapasitas 60.000 ton/tahun yang akan didirikan pada tahun 2020. Kapasitas perancangan pabrik fenol ini sengaja ditetapkan sebesar itu dengan harapan:

1. Dapat memenuhi kebutuhan fenol dalam negeri yang terus meningkat setiap tahun.

2. Dapat menghemat devisa negara yang cukup besar karena berkurangnya impor akan fenol serta dapat mengurangi ketergantungan pada negara lain.
3. Dapat memberikan kesempatan bagi berdirinya industri-industri lain yang menggunakan fenol sebagai bahan baku.
4. Dampak positif dari berkembangnya industri-industri baru tersebut adalah terciptanya lapangan kerja baru yang dapat menyerap banyak tenaga kerja.

### **C. PROSES PEMBUATAN**

Proses produksi fenol yang paling efisien dilakukan dengan proses dekomposisi kumen hidroperoksida. Proses ini dilakukan dengan cara mereaksikan kumen hidroperoksida dan asam sulfat sebagai katalisnya. Reaksi dijalankan dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) pada suhu 65°C dan tekanan 1 atm.

Pada proses dekomposisi kumen hidroperoksida terkonversi menjadi fenol dan aseton dengan perbandingan 1,5 : 1. Reaksi pembentukan fenol adalah reaksi

eksotermis, karena panas yang dihasilkan pada reaksi dekomposisi kumen hidroperoksida sangat besar. Nilai  $\Delta H_R = -235,53 \text{ kJ/mol}$  untuk mempertahankan kondisi tersebut, maka reaktor dilengkapi dengan koil agar panas dapat diserap oleh fluida pendingin.

#### D. TINJAUAN KINETIKA

Tinjauan kinetika digunakan untuk menentukan nilai kecepatan laju reaksi, agar dapat digunakan untuk merancang reaktor. Laju reaksi kimia sangat dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi reaktan. Semakin besar konsentrasi reaktan yang digunakan, laju reaksi akan meningkat. Laju reaksi juga dipengaruhi oleh nilai konstanta laju reaksi ( $k$ ). Konstanta laju reaksi ( $k$ ) adalah perbandingan antara laju reaksi dengan konsentrasi reaktan (Fogler, 1992).

Ditinjau dari kinetiknya, reaksi dekomposisi kumen hidroperoksida termasuk reaksi orde 1 (Mc Ketta, 1987).

Reaksi dekomposisi kumen hidroperoksida akan berlangsung selama 25-40 menit dengan

menggunakan katalis asam sulfat 0,4 % dari berat total umpan pada kondisi operasi  $65^\circ\text{C}$  tekanan 2 atm dan konversi mencapai 98%. (US Patent 5371305)

Persamaan perancangan :

$$t = C_{ao} \int_0^{x_a} \frac{\delta x_a}{-r_a}$$

Persamaan kecepatan Reaksi :

$$(-r_A) = k.C_A$$

Stoikiometri :

$$C_a = C_{ao}(1 - X_a)$$

Dari data diatas dapat diketahui: data batch,  $t = 0.25 \text{ jam}$ ,  $X_a = 98\%$  sehingga tetapan kecepatan reaksi ( $k$ ) dapat dihitung sebesar:

$$k = \frac{1}{0.25} [-\ln (1-0,98)]$$

$$k = 9,3888 / \text{jam}$$

#### E. DESKRIPSI PROSES

Bahan baku kumen hidroperoksida (CHP) diimpor dari Cina yang selanjutnya disimpan dalam tangki penyimpanan (F-01) pada suhu  $30^\circ\text{C}$  dan tekanan 1 atm, untuk kebutuhan 10 hari. Kumen hidroperoksida yang digunakan memiliki kemurnian 90% dengan impuritas 10% yang terdiri dari kumen dan air.

Bahan baku CHP yang disimpan dalam tangki penyimpanan (F-01) di pompa dengan pompa (L-01) ke reaktor melalui heater (H-01) hingga mencapai suhu 65°C. pemanasan tersebut bertujuan untuk menyesuaikan dengan kondisi operasi reaktor.

Proses dekomposisi kumen hidroperoksida berlangsung dalam reaktor (R) menjadi fenol dan aseton. terjadi dengan kondisi operasi fase cair-cair, *irreversible*, *eksotermis*, *isothermal*, *non adiabatis*.

Jenis reaktor yang digunakan adalah Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB) seri 3 dengan koil pendingin pada masing-masing reaktor. Fungsi pengaduk untuk mencampur katalis asam sulfat dengan reaktan. Sedangkan koil digunakan untuk pendinginan karena reaksinya eksotermis dimana perlu pendinginan agar suhunya tetap pada suhu operasi.

Produk keluar Reaktor (R) dialirkan menuju Menara Destilasi (D-01) untuk memisahkan produk samping yang merupakan hasil atas menara yang berupa aseton 98,5% dan impuritas berupa air 1,5%.

Produk hasil atas Menara Destilasi (D-1) kemudian dialirkan ke Menara Destilasi (D-02) untuk ditingkatkan kemurniannya menjadi 99,9%. Sedangkan hasil bawah Menara Destilasi (D-01) diumpankan ke Menara Destilasi (D-03) yang bertujuan untuk memisahkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> yang merupakan hasil bawah menara yang selanjutnya dialirkan menuju ke arus 4 sebagai bahan *Recycle* menuju reaktor (R). Sedangkan hasil atas menara dialirkan menuju Menara Destilasi (D-04) yang bertujuan mengambil fenol dan CHP yang masih terbawa pada hasil atas Menara Destilasi (D-03). Kumen dan kumen hidroperoksida yang menjadi produk atas menara destilasi (D-04) kemudian dipisahkan kembali dalam menara destilasi (D-05). Sedangkan hasil bawah menara berupa fenol 99,99 %. Pada menara destilasi (D-05) kumen hidroperoksida akan menjadi produk atas dan sekaligus menjadi umpan *Recycle* reaktor (R). Sedangkan hasil bawah menara berupa kumen 99,5 %

## **F. SPESIFIKASI ALAT PROSES**

Alat-alat yang digunakan dalam proses produksi fenol harus

disesuaikan dengan kapasitas perancangan dan standar internasional yang umum digunakan. Dari hasil perhitungan data spesifikasi alat proses pabrik metil metakrilat dengan kapasitas 60.000 ton/ tahun adalah sebagai berikut:

### 1. Menara Distilasi-01

Kode : D-01  
Fungsi : Untuk memisahkan air dan kumen  
Jenis : *Sieve Tray*

#### Kondisi Operasi

- Umpan :  $P = 2 \text{ atm}$   
 $T = 106,39 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Atas :  $P = 2 \text{ atm}$   
 $T = 82,52 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Bawah :  $P = 2 \text{ atm}$   
 $T = 203,45 \text{ }^{\circ}\text{C}$

D menara : 0,805 m  
Tebal *shell* :  $\frac{3}{16} \text{ in}$   
Tebal *head* :  $\frac{3}{16} \text{ in}$   
Tinggi menara : 37,62 m  
 $\Sigma \text{ plate actual}$  : 82 buah  
Konstruksi :  
*Stainless Steel SA-304*

### 2. Menara Distilasi-02

Kode : D-02  
Fungsi : Untuk Memurnikan Aseton

Jenis : *Sieve Tray*

#### Kondisi Operasi

- Umpan :  $P = 2 \text{ atm}$   
 $T = 183,52 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Atas :  $P = 2 \text{ atm}$   
 $T = 77,94 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Bawah :  $P = 2 \text{ atm}$   
 $T = 230,49 \text{ }^{\circ}\text{C}$

D menara : 1,022 m  
Tebal *shell* :  $\frac{3}{16} \text{ in}$   
Tebal *head* :  $\frac{3}{16} \text{ in}$   
Tinggi menara : 26,46 m  
 $\Sigma \text{ plate actual}$  : 57 buah

#### Konstruksi :

*Carbon Steel SA-135*

### 3. Menara Distilasi-03

Kode : D-03  
Fungsi : Untuk memisahkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$   
Jenis : *Sieve Tray*

#### Kondisi Operasi

- Umpan :  $P = 2 \text{ atm}$   
 $T = 203,45 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Atas :  $P = 2 \text{ atm}$   
 $T = 203,24 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Bawah :  $P = 2 \text{ atm}$   
 $T = 267,92 \text{ }^{\circ}\text{C}$

D menara : 0,874 m  
Tebal *shell* :  $\frac{3}{16} \text{ in}$   
Tebal *head* :  $\frac{3}{16} \text{ in}$   
Tinggi menara : 46,66 m



$\Sigma plate actual$  : 102 buah

Konstruksi :

*Stainless Steel SA-304*

#### 4. Menara Distilasi-04

Kode : D-04

Fungsi : Untuk memisahkan  
CHP dan kumen  
dengan fenol

Jenis : *Sieve Tray*

Kondisi Operasi

- Umpan : P = 2 atm  
T = 203,24 °C
- Atas : P = 2 atm  
T = 180,47 °C
- Bawah : P = 2 atm  
T = 207,69 °C

D menara : 0,931m

Tebal *shell* :  $\frac{3}{16}$  in

Tebal *head* :  $\frac{3}{16}$  in

Tinggi menara : 49,43 m

$\Sigma plate actual$  : 105 buah

Konstruksi :

*Stainless Steel SA-304*

#### 5. Menara Distilasi-05

Kode : D-05

Fungsi : Untuk memisahkan  
CHP dengan kumen

Jenis : *Sieve Tray*

Kondisi Operasi

- Umpan : P = 2 atm

T = 180,47 °C

- Atas : P = 2 atm

T = 179,36 °C

- Bawah : P = 2 atm

T = 183,15 °C

D menara : 1,652 m

Tebal *shell* :  $\frac{3}{16}$  in

Tebal *head* :  $\frac{3}{16}$  in

Tinggi menara : 22 m

$\Sigma plate actual$  : 48 buah

Konstruksi :

*Stainless Steel SA-304*

#### 6. Reaktor (R-01)

Kode : R-01

Jumlah : 3

Fungsi : Mendekomposisi  
kumen hidroperoksida  
menjadi fenol dan  
aseton dengan katalis  
asam sulfat

Jenis alat : Reaktor alir tangki  
berpengaduk (RATB)

Konversi

- reaktor 1 : 67%
- reaktor 2 : 89%
- reaktor 3 : 96%

Kondisi operasi

Tekanan : 2 atm

Suhu : 65 °C

#### Dimensi

Diameter : 0,418 m  
Tinggi : 1,102 m  
Tebal *shell* :  $\frac{3}{16}$  in  
Tebal *head* :  $\frac{3}{16}$  in

#### Pengaduk

Jenis : Turbin dengan 6 blade plate  
Diameter : 0,139 m  
 $\Sigma$  *baffle* : 8  
BHP : 2,5 Hp  
Tinggi pengaduk : 0,0483 m  
Lebar pengaduk : 0,0603 m  
Lebar *baffle* : 0,0410 m  
Tinggi cairan : 0,63640 m  
Pendingin :  
Jenis : *Coil Single Helix*  
Kondisi Operasi :  
- Suhu Masuk : 25 °C  
- Suhu Keluar : 35 °C  
Jumlah lilitan : 15  
Tinggi koil : 0,43 m  
Volume koil : 0,042 m<sup>3</sup>  
Kontruksi :  
*Stainless steel SA-304*  
Jumlah : 1 buah

#### G. UTILITAS

	Kebutuhan (kg/jam)	Make-up (kg/jam)
Air pendingin	110.409,18	3.577,25

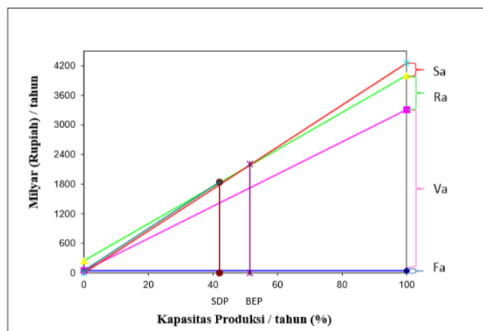
Air pembangkit steam	24.898,58	7.189,90
Air sanitasi	2.909,37	

Tabel 2. Data Kebutuhan Air Pabrik Fenol

#### H. ANALISIS EKONOMI

Analisis ekonomi dalam suatu perancangan pabrik diperlukan untuk memperkiraan besarnya keuntungan (laba) yang diperoleh, lamanya pengembalian modal investasi, kelayakan investasi dan terjadinya titik impas. Analisis ekonomi juga digunakan untuk mengetahui apakah pabrik yang akan didirikan dapat menguntungkan dan layak didirikan atau tidak (Aries dan Newton, 1995). Berdasarkan evaluasi ekonomi yang telah dilakukan, pabrik direncanakan beroperasi selama 330 hari pertahun dengan modal tetap sebesar Rp. 369.400.804.196,96 pertahun. Modal kerja sebesar Rp. 775.067.521.406,41 pertahun. Keuntungan yang didapat setelah dipotong pajak mencapai Rp. 161.508.905.036,54 pertahun. Hasil analisis kelayakan menyatakan bahwa percent return on investment (ROI) sebelum pajak sebesar 62,46%

dan setelah pajak sebesar 43,73%. Pay out time (POT) sebelum pajak 1,38 tahun sedangkan setelah pajak sebesar 1,86 tahun. Break even point (BEP) sebesar 51,31% kapasitas, dan shut down point (SDP) sebesar 41,96% kapasitas. Discounted cash flow (DCF) sebesar 51,31%. Hasil analisa ini dapat ditunjukkan dalam gambar 2 berikut:



Gambar 2. Grafik Parameter Analisis  
Ekonomi

## I. KESIMPULAN

Hasil analisis kelayakan ekonomi menyatakan bahwa pabrik metil metakrilat layak dipertimbangkan untuk didirikan dan dikaji lebih lanjut. Hal ini ditunjukkan dengan hasil analisa kelayakan ekonomi sebagai berikut:

1. Keuntungan sebelum pajak sebesar Rp. 230.727.007.195,05  
Keuntungan sesudah pajak sebesar Rp. 161.508.905.036,54
2. *ROI (return on investment)* sebelum pajak adalah 62,46%.  
*ROI (return on investment)* sesudah pajak adalah 43,73%.  
*ROI (return on investment)* sebelum pajak untuk pabrik beresiko rendah minimal 11% (Aries dan Newton, 1995).
3. *POT (pay out time)* sebelum pajak adalah 1,38 tahun  
*POT (pay out time)* sesudah pajak adalah 1,86 tahun  
*POT (pay out time)* sebelum pajak untuk pabrik beresiko rendah maksimal 5 tahun (Aries dan Newton, 1995).
4. *BEP (break event point)* adalah 51,31%  
*SDP (shut down point)* adalah 41,96%  
*BEP* untuk pabrik kimia pada umumnya berkisar antara 40%-60%.
5. *DCF (discounted cash flow)* adalah 40,14%  
*DCF* yang dapat diterima harus lebih besar dari bunga pinjaman di bank. Besarnya *DCF* untuk pabrik beresiko rendah minimal 1,5 kali besarnya bunga bank.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aries, R, S, dan Newton, R.D, 1955, "*Chemical Engineering Cost Estimation*", Mc Graw Book Company, New York.
- Badan Pusat Statistik, 2007-2015, "*Statistik Perdagangan Luar Negeri Indonesia*", Import Menurut Jenis Barang dan Negara Asal, Jakarta, <http://www.bps.go.id>, diakses Jum'at, 20 September 2014, pukul 19.00 WIB.
- Brownell, L.E., dan Young, E.H., 1979, "*Process Engineering Design*", 3<sup>rd</sup> ed, Willey Eastern Ltd. New Delhi.
- Coulson, J.H., dan Richardson, J.F., 1983, "*Chemical Engineering Design*", vol. 6, Pergason Press, Oxford.
- Faith, W.L., Keyes, D.B., and Clark, R.I., 1970, *Industrial Chemistry*, JohnWiley and Sons, London.
- Fogler, 1992, "*Elements of Chemical Reaction Engineering*", 4th edition, Prentice-Hall International, Inc, Amerika.
- Horace E, Hood 1994, *Process for Producing Phenol from Cumene*, US Patent 5371305.
- Kern, D. Q., 1965, "*Process Heat Transfer*", Mc. Graw-Hill BookCompany Inc., Singapura.
- Kirk, R. E., dan Othmer, D. F., 1995, "*Encyclopedia of Chemical Technology*", 4<sup>th</sup> edition, vol. 16, John Wiley and Sons Company Inc., New York.
- Levenspiel, O., 1976, *Chemical Reaction Engineering*, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley and Sons, inc., Toronto.
- Perry, R. H., dan Green, D., 1999, "*Perry's Chemical Engineer's Hand Book*", 7<sup>th</sup> ed, Mc Graw Hill Book Company Inc., New York.
- Peters, M. S., dan Timmerhaus, E. D., 1980, "*Plant Design and Economy for Chemical Engineer's*", 3<sup>rd</sup> ed, Mc Graw Hill Book Company Inc., Singapore.
- Mc Ketta, j.j. and Cunningham, W.A., 1987, *Encyclopedia of Chemical Processing and*

*Design*, Vol 5, Marcel  
Decker inc., New York.

Peters, M.S. and Timmerhaus, K.D.,  
2003, *Plant Design and  
Economic for Chemical  
Engineering*, 5<sup>th</sup> ed.,  
McGraw-Hill International  
Book Company Inc., New  
York.

Powell, S.T., 1954, *Water  
Conditioning for Industry*,  
McGraw-Hill Book  
Company, Tokyo.

Rase, H.F., and Holmes, J.R., 1977,  
*Chemical Reactor Design for  
Process Plant, Volume One :  
Principles and Techniques*,  
John Wiley and Sons, Inc.,  
New York.

Ullmann's, 1989, "*Encyclopedia of  
Industrial Chemistry*",  
Weiihim Fifth Completely  
Revised Edition, John Wiley  
and Sons Company Inc.,  
Jerman

Yaws, 1999, "*Thermodynamic and  
Physical Properties Data*",  
Mc.Graw-Hill Book  
Company Inc., Singapura.